

การศึกษาเปรียบเทียบชนิดของน้ำหมึกพิมพ์ โดยวิธี Thin layer chromatography *

Comparison study of ink by thin layer chromatography

ภาวดี ทับศรีแก้ว**

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยในครั้งนี้คือ การวิเคราะห์หมึกพิมพ์บนกระดาษด้วยเทคนิค thin-layer chromatography (TLC) ร่วมกับโปรแกรมวิเคราะห์ภาพของ chromatogram ผลของการวิเคราะห์ที่ได้จะถูกนำมาใช้ประเมินความเหมือนหรือความแตกต่างของหมึกพิมพ์ที่ใช้ นำตัวอย่างหมึกพิมพ์ทั้งหมด 20 ตัวอย่าง จากการศึกษาเฟสเคลื่อนที่ที่เหมาะสม คือ ระบบตัวทำละลาย *n*-butanol, ethanol และ distilled water ในอัตราส่วน (10:2:3, v/v/v) ตัวทำละลายในการสกัดหมึก แผ่น TLC ที่ได้จะนำไปสแกนด้วยเครื่องสแกนเนอร์ที่ใช้ในสำนักงาน และบันทึกเป็นแฟ้มประเภท bitmap (bmp) จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ ซึ่งโปรแกรมจะอ่านและเปรียบเทียบค่าความเข้มของ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน (RGB) บนภาพ TLC ผลจากการวิเคราะห์ภาพบนแผ่น TLC พบว่ามาจากหมึกพิมพ์ชนิดเดียวกัน 41.43% มาจากหมึกพิมพ์ต่างชนิดกัน 48.57% และไม่สามารถจำแนกชนิดได้ 16.19% ผลการศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นความเป็นไปได้ในการใช้วิธี TLC ร่วมกับโปรแกรมวิเคราะห์ภาพเพื่อตรวจพิสูจน์เอกสารทางนิติวิทยาศาสตร์

Abstract

Twenty ink samples of different brands in this study were inks for an inkjet printer. The sample for analysis was extracted from the document by using a mixture of pyridine and water (1:1, v/v) as a solvent. In the thin-layer chromatography (TLC) experiment, the separation of the ink sample was carried out on a commercial silica gel coated on aluminium sheet using a solvent system of *n*-butanol, ethanol and water (10:2:3, v/v/v) as a mobile phase. After the development, the chromatogram was digitized by an ordinary office scanner and the image was saved as a bitmap file. The color profiles of the chromatogram images in the RGB space were acquired and compared to evaluate the similarity of the images. The results revealed that 35.26% of the total 190 pairs of samples were identified as samples from similar ink, and 53.68% of the sample pairs were classified as samples of different inks while 17.89% of sample pairs tested gave uncertain results. The present study demonstrates the potential of the combined method of TLC and image analysis in forensic examination of documents produced by the inkjet printer.

* บทความนี้เป็นบทความจากผลงานวิจัยที่ผู้เขียนบทความเรียบเรียงจากวิทยานิพนธ์เรื่อง การศึกษาเปรียบเทียบชนิดของน้ำหมึกพิมพ์ โดยวิธี Thin layer chromatography เพื่อแยกและศึกษาองค์ประกอบของน้ำหมึกของเครื่อง ink jet printer และเพื่อเปรียบเทียบความเหมือนและแตกต่างขององค์ประกอบของน้ำหมึก เครื่อง ink jet printer แต่ละยี่ห้อ

** นักศึกษาปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขานิติวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร เบอร์โทรศัพท์ 086 002 2003 E-mail:af.ruksa@gmail.com อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง อาจารย์ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทนำ

ปัจจุบันนี้ พยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ได้มีบทบาทสำคัญในกระบวนการสืบสวนสอบสวน และถูกนำมาใช้ในกระบวนการในชั้นศาล พยานหลักฐานที่พบในสถานที่เกิดเหตุ มักจะถูกทำลายไป เพื่อหลีกเลี่ยงความผิด หลักฐานที่พบเพียงเล็กน้อย จึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก สำหรับนักนิติวิทยาศาสตร์และกระบวนการยุติธรรม เพื่อนำไปใช้ในการสืบสวน หาตัวผู้กระทำผิด สำหรับวัตถุพยานที่เป็นเอกสาร เช่น เช็คนับัตร เอกสารสัญญา ซึ่งเป็นเอกสารสำคัญ ถ้าสามารถหาแหล่งที่มาหรือตรวจสอบน้ำหมึก ว่ามาจากน้ำหมึกยี่ห้ออะไร พิมพ์มาจากเครื่องพิมพ์ไหน ก็จะนำไปสู่การสืบสวนหาผู้กระทำผิดได้ง่ายขึ้น น้ำหมึกเป็นสารทางเคมีที่มีองค์ประกอบหลายอย่าง แต่องค์ประกอบหลัก คือ dye และ pigment สำหรับองค์ประกอบอื่นหรือสารตัวอื่นที่ใส่เพิ่มเข้ามา จะทำให้น้ำหมึกแต่ละยี่ห้อมีความแตกต่างกัน ในการวิเคราะห์น้ำหมึกนั้น มีหลายวิธีที่ต่างกันไป เพื่อให้มีความเหมาะสม สะดวกและประหยัดเวลาในการวิเคราะห์ เครื่อง printer แบ่งได้ 3 ชนิด

1. Dot Matrix เป็นเครื่อง printer ใช้เข็มพิมพ์ร่วมกับผ้าหมึก ทำงานโดยมีสัญญาณไฟฟ้า จากเครื่องคอมพิวเตอร์ สั่งให้ coil ไฟฟ้า ยิ่งเข็มไปโดนผ้าหมึก ให้หมึกติดกับกระดาษออกมาเป็นตัวหนังสือหรือภาพตามที่ต้องการ

2. Laser Jet เป็นเครื่อง printer ชนิดใช้ผงหมึก ทำงานร่วมกับพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าสถิต ทำงานโดยลูกกลิ้งที่มีพลังงานแม่เหล็ก จะดูดผงหมึก ให้ติดกับตัวลูกกลิ้ง จากนั้นผงหมึกจะถูกรีดให้ไปติดกับตัวลูกกลิ้ง ที่มีพลังงานไฟฟ้าสถิตอยู่ ซึ่งได้รับสัญญาณไฟฟ้าที่ส่งจากเครื่อง computer และให้ลูกกลิ้งรีดผงหมึกให้ติดกับกระดาษตามภาพหรือตัวอักษรที่ต้องการ

3. Ink Jet เป็นเครื่อง printer ชนิดใช้น้ำหมึก ร่วมกับการทำงานของหัวพ่นและวงจรไฟฟ้า ทำงานโดยรับสัญญาณไฟฟ้ามาจาก computer แล้วสั่งให้วงจรไฟฟ้าพ่นน้ำหมึกให้ออกไปติดกับกระดาษมากหรือน้อยตามตำแหน่งที่ต้องการ เป็นภาพหรือตัวอักษรตามที่ต้องการ

การพิมพ์โดยใช้ ink jet printer เป็นที่นิยมมาก เพราะเครื่อง printer และน้ำหมึกมีราคาถูก โดยน้ำหมึกที่ใช้กับเครื่อง ink jet printer แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ liquid inkjet คือ หมึกที่เป็นน้ำ มีแม่สี 4 สี C M Y K ประเภทที่ 2 คือ dye sublimation หมึกจะมีลักษณะเป็นฟิล์มบางๆ ของสี 3 สี C M Y ส่วนสีดำเกิดจากการผสมของ 3 สี และประเภทสุดท้าย solid ink jet ประเภทนี้ ไม่เหมาะกับงานพิมพ์ภาพถ่าย แต่เหมาะสำหรับการพิมพ์เอกสารเพื่อตรวจ Proof

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาวิธีการจำแนกชนิดน้ำหมึกพิมพ์ชนิด liquid inkjet ของเครื่อง ink jet printer โดยวิธี thin layer chromatography (TLC) ร่วมกับการใช้โปรแกรม computer ที่พัฒนาขึ้นในการเปรียบเทียบความเหมือนและแตกต่างของน้ำหมึกที่ได้ โดยหาความแตกต่างของค่าความเข้มข้นของสี yellow, cyan และ magenta เป็น 3 สีหลัก ที่จะทำให้เกิดภาพที่สมบูรณ์ ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ คาดหวังว่าตัวอย่างน้ำหมึกโดยตรงและตัวอย่างน้ำหมึกที่พิมพ์บนกระดาษของเครื่อง ink jet printer แต่ละยี่ห้อ จะสามารถบอกความเหมือนและแตกต่างขององค์ประกอบของสารเคมีได้

วิธีการวิจัย

1. การเก็บตัวอย่างการทดลอง ใช้หมึกจากเครื่อง ink jet printer จำนวน 20 ตัวอย่าง เก็บตัวอย่าง 2 แบบ แบบที่หนึ่ง เก็บตัวอย่างน้ำหมึกบนกระดาษที่พิมพ์โดย เครื่อง ink jet printer แต่ละยี่ห้อ และแบบที่สอง เก็บตัวอย่างน้ำหมึกจากเครื่อง ink jet printer โดยตรง การดาษที่ใช้พิมพ์ คือ double A จากนั้นนำกระดาษตัวอย่างมาเจาะด้วยตัวเจาะกระดาษ เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 6 mm

2. การหาปริมาณสารสกัดน้ำหมึก โดยผสม pyridine and distilled water ในอัตราส่วน 4:3 (v/v) เพื่อให้ได้ความเข้มข้นที่เหมาะสมในการทำ TLC โดยอัตราส่วนในการทดลองแสดงดังตารางที่ 1 เลือกปริมาณสารสกัดที่ให้ chromatogram ชัดเจนและแยกได้ดีที่สุดมาใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 1 แสดงอัตราส่วนปริมาณสารสกัดในการสกัดน้ำหมึกจากกระดาษ

ตัวอย่างจากการพิมพ์	ตัวอย่างจากน้ำหมึก
ตัวอย่าง (ชิ้น) : ปริมาณสารสกัด (μl)	ตัวอย่าง (μl) : ปริมาณสารสกัด (μl)
1:10	10:50
1:15	10:100
1:20	10:150
1:25	10:200
1:30	10:250

3. การศึกษาเฟสเคลื่อนที่ที่ใช้ทำ TLC นำหมึกที่สกัดจาก pyridine:distilled water มา spot โดยใช้ capillary tube ลงบนแผ่น TLC จุดละประมาณ 5 μl จากนั้นนำมา run TLC ในเฟสเคลื่อนที่ทั้ง 2 ระบบ ระบบที่ 1 คือ ethyl acetate:acetate:distilled water ในอัตราส่วน 70:35:30(v/v/v) และระบบที่ 2 คือ *n*-butanol:ethanol:distilled water ในอัตราส่วน 10:2:3(v/v/v) เป็นเวลา 60 นาที ผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง

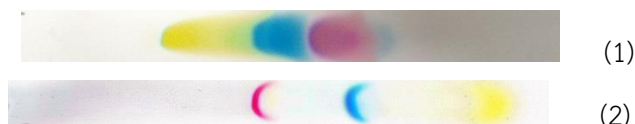
4. การศึกษาวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำหมึก 20 ตัวอย่าง โดยเทคนิค TLC นำตัวอย่างที่ได้จากการพิมพ์บนกระดาษและตัวอย่างน้ำหมึกจากเครื่อง ink jet printer มาสกัดและทำ TLC ตามสภาวะที่ได้จากการทดลอง มา spot ตัวอย่างลงบนแผ่น TLC จุดละประมาณ 5 μl ทำซ้ำทั้งหมด 3 ชุด run TLC ประมาณ 60 นาที ผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง นำ TLC chromatogram ที่ได้มา scan ด้วยเครื่อง scanner ยี่ห้อ OpticPro รุ่น A320 และบันทึกเพิ่มประเภท bitmap (bmp) และเตรียมภาพ TLC ด้วยการตัดให้เหลือภาพละ 1 ตัวอย่างด้วยโปรแกรม photo shop โดยตัดความกว้างให้พอดีขอบของตัวอย่างน้ำหมึก ส่วนความยาวตัดให้มีขนาดตามระยะการเคลื่อนที่ของเฟสเคลื่อนที่ เพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ

5. การเปรียบเทียบภาพ TLC ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ โปรแกรมวิเคราะห์ภาพจะออกแบบให้วิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของแม่สีทั้ง 3 คือ สีแดง (R, red) สีเขียว (G, green) และสีน้ำเงิน (B, blue) เปรียบเทียบจากค่า coefficient of determination (r^2) ของแต่ละสี โดยกำหนดให้ Rr^2 , Gr^2 และ Br^2 เป็นค่า r^2 ของสีแดง, สีเขียว และสีน้ำเงิน ตามลำดับ การเปรียบเทียบจะใช้การจับคู่ ถ้าเปรียบเทียบแล้ว ภาพ TLC คู่ใดมีค่า r^2 เข้าใกล้ 1 หมายถึง ภาพ TLC ที่นำมาเปรียบเทียบนั้น มีความสัมพันธ์กันมากหรือภาพ TLC นั้นมีความเหมือนกัน

มาก ถ้า r^2 เข้าใกล้ 0 หมายถึง ภาพ TLC ที่นำมาเปรียบเทียบมีความสัมพันธ์กันน้อยหรือภาพ TLC มีความเหมือนกันน้อยและนำค่า r^2 ของทั้ง 3 สี มาคำนวณหาค่าความสัมพันธ์

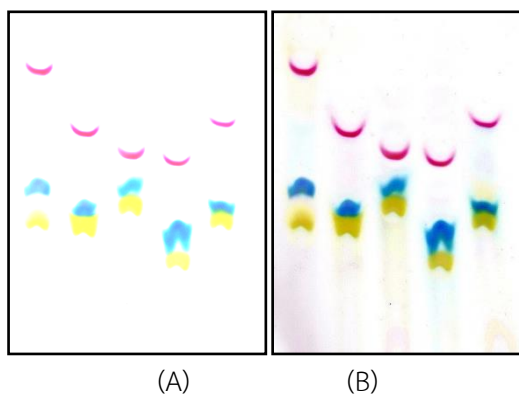
ผลการวิจัย

1. การศึกษาเฟสเคลื่อนที่ที่เหมาะสม พบว่าเฟสเคลื่อนที่ระบบที่ 2 คือ *n*-butanol : ethanol : distilled water ในอัตราส่วน 10:2:3 (v/v/v) เหมาะสมที่สุด เพราะสามารถแยกแถบของน้ำหมึกได้ชัดเจนและใช้เวลาน้อยกว่าระบบที่ 1 คือ ethyl acetate:acetate:distilled water ในอัตราส่วน 70:35:30(v/v/v)



รูปที่ 1 ภาพ TLC chromatogram ของการ run ตัวอย่างหมึกพิมพ์ในเฟสเคลื่อนที่ (1) คือ ethyl acetate:acetate:distilled water และ (2) คือ *n*-butanol:ethanol:distilled water

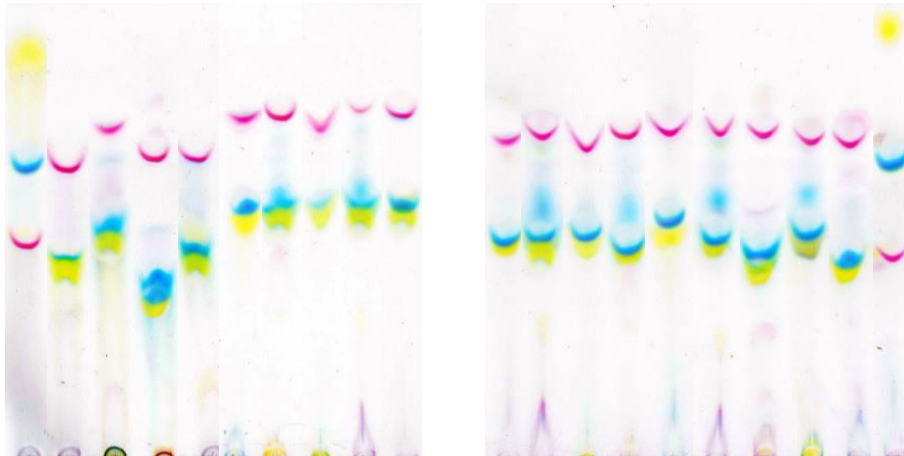
2. ปริมาณสารละลาย pyridine:distilled water ในอัตราส่วน 4:3 (v/v)ที่ใช้ในการสกัดน้ำหมึกที่เหมาะสม พบว่า ปริมาณสารละลายที่เหมาะสมกับตัวอย่าง คือ 10 μ l ต่อกระดาษ 1 ชิ้น (เส้นผ่าศูนย์กลาง 6 mm.) เพราะเมื่อนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TLC แล้วจะได้ chromatogram ที่แยกกันชัดเจนที่สุด



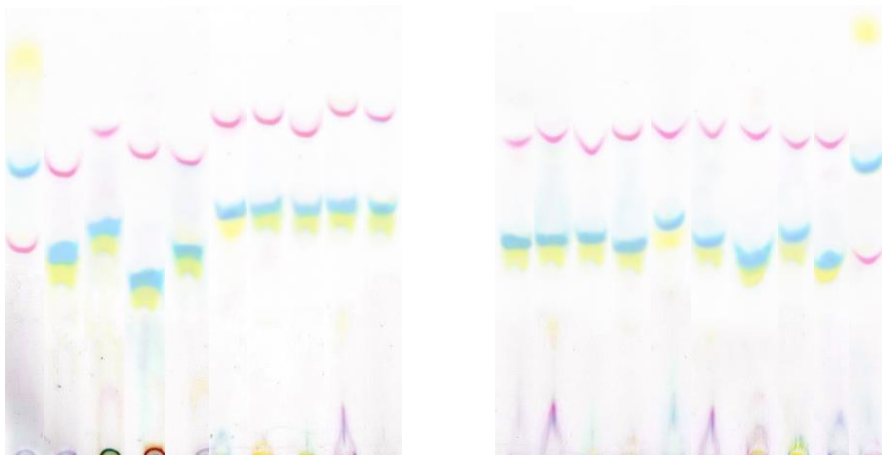
รูปที่ 2 (A) ใช้ปริมาณ pyridine:distilled water ในอัตราส่วน 4:3 (v/v) ปริมาณ 20 μ l ในการสกัด และ (B) ใช้ปริมาณ pyridine:distilled water ในอัตราส่วน 4:3 (v/v) ปริมาณ 10 μ l ในการสกัด

จากภาพ A ใช้ pyridine:distilled water ในอัตราส่วน 4:3 (v/v) ปริมาณ 20 μ l chromatogram ที่ได้ มองเห็นไม่ชัดเจน ภาพ B ใช้ pyridine:distilled water ในอัตราส่วน 4:3 (v/v) ปริมาณ 10 μ l chromatogram ที่ได้ มีสีเข้มเพียงพอในการนำมาวิเคราะห์ TLC สำหรับการทดลองสกัดจากน้ำหมึกโดยตรง พบว่า ใช้ pyridine:distilled water ในอัตราส่วน 4:3 (v/v) ปริมาณ 50 μ l ต่อตัวอย่างน้ำหมึก 10 μ l ให้ TLC chromatogram ดีที่สุด แยกกันชัดเจนและความเข้มสีอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถนำไปวิเคราะห์ต่อด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ

3. การศึกษาวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำหมึก 20 ตัวอย่าง โดยเทคนิค TLC ทั้งตัวอย่างน้ำหมึกโดยตรงและจากการพิมพ์บนกระดาษ พบว่า ตัวอย่างหมึกทั้ง 20 ตัวอย่าง มีการแยกกันชัดเจนได้ chromatogram ดังรูปที่ 3 และ 4



รูปที่ 3 TLC chromatogram ของหมึกพิมพ์ ink jet 20 ตัวอย่าง ที่ได้จากหมึกโดยตรง



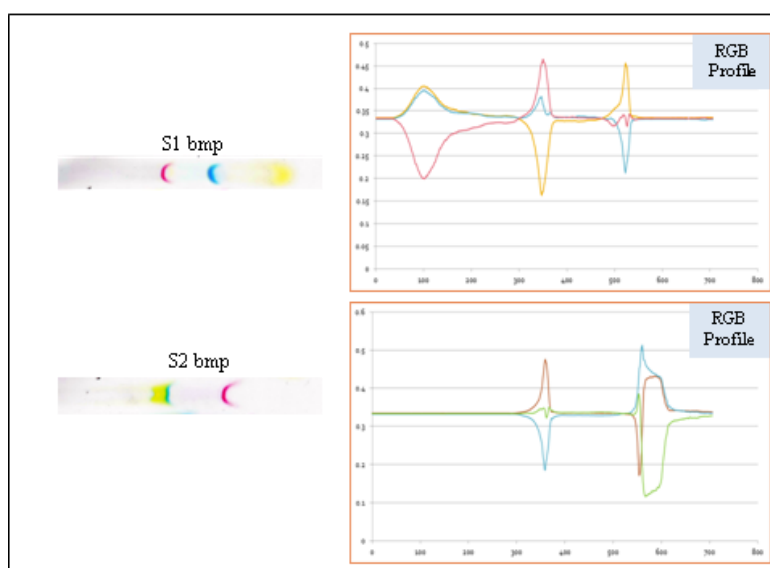
รูปที่ 4 TLC chromatogram ของหมึกพิมพ์ ink jet 20 ตัวอย่าง ที่ได้จากการพิมพ์

4. ผลการหาเกณฑ์การพิจารณาความเหมือนและความแตกต่างของหมึกพิมพ์ จะเปรียบเทียบภาพ TLC 171 คู่ ของตัวอย่างหมึกพิมพ์ที่พิมพ์จากเครื่อง ink jet printer 1 ชุด ทำ 3 ซ้ำ จำนวน 20 ตัวอย่าง วิธีหาเกณฑ์พิจารณาทำได้โดยนำ score ของทั้ง 171 คู่ มาคำนวณเพื่อหาค่าเฉลี่ยและค่าต่ำสุดของข้อมูล จากการนำข้อมูลมาวิเคราะห์ได้ผล ดังนี้

ตารางที่ 3 เกณฑ์สำหรับใช้พิจารณาความเหมือนและความแตกต่างของน้ำหมักพิมพ์

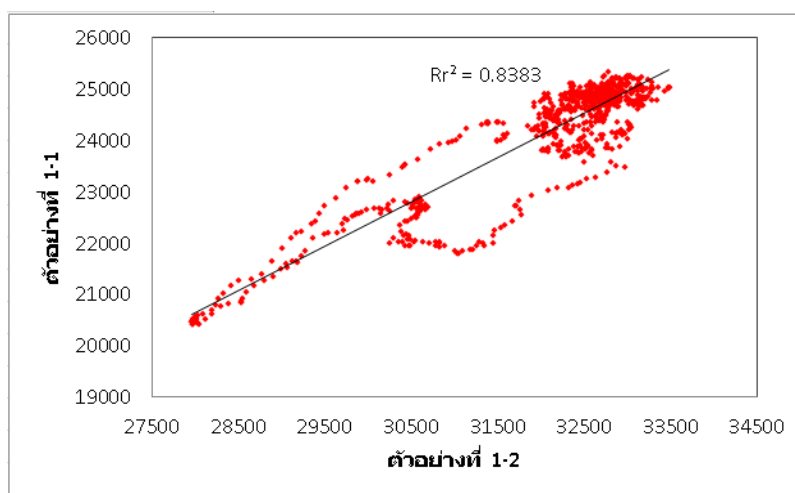
Score	เกณฑ์การพิจารณา
≥ 0.88	แสดงว่าเป็นหมักยี่ห้อเดียวกัน
0.70-0.87	ระบุไม่ได้ว่าเป็นหมักยี่ห้อเดียวกันหรือต่างกัน
≤ 0.69	แสดงว่าเป็นหมักต่างยี่ห้อกัน

5. ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความเหมือนของภาพ TLC chromatogram การวิเคราะห์จะเปรียบเทียบภาพ TLC ของน้ำหมักพิมพ์ 171 คู่ ได้ผล ดังนี้



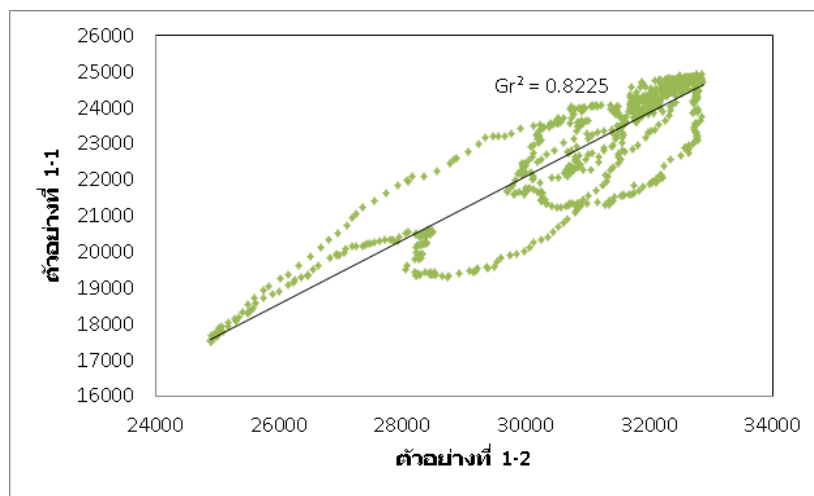
รูปที่ 5 ตัวอย่างค่าสี (RGB) ของแถบ chromatogram ตัวอย่างที่ 1 และ 2

จากกราฟ โปรแกรมวิเคราะห์ภาพแสดงผลเป็นกราฟของสีแดง (R, red) สีเขียว (G, green) สีน้ำเงิน (B, blue) ของตัวอย่างที่ 1 และ 2 โดยแกน X เป็นค่าความเข้ม RGB แกน Y เป็นความยาวของภาพมีค่า 0-1000 pixels



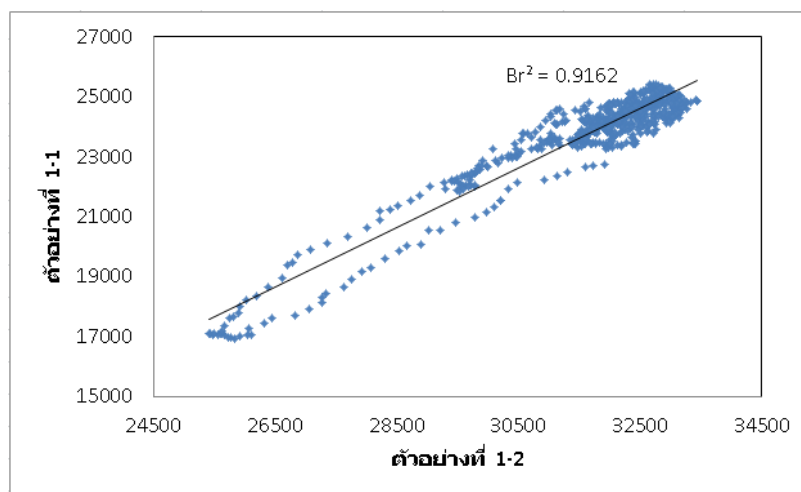
รูปที่ 6 กราฟความสัมพันธ์สีแดง (R, red) ของตัวอย่างที่ 1 ครั้งที่ 1 และ 2

จากกราฟ แสดงความสัมพันธ์ของสีแดง ของตัวอย่างที่ 1 ครั้งที่ 1 และ 2 พบว่า มีลักษณะใกล้เคียงเส้นตรง หรือ score เข้าใกล้ 1 แสดงว่าภาพ TLC ที่นำมาเปรียบเทียบกับนั้น มีแนวโน้มมาจากหมึกชนิดเดียวกัน



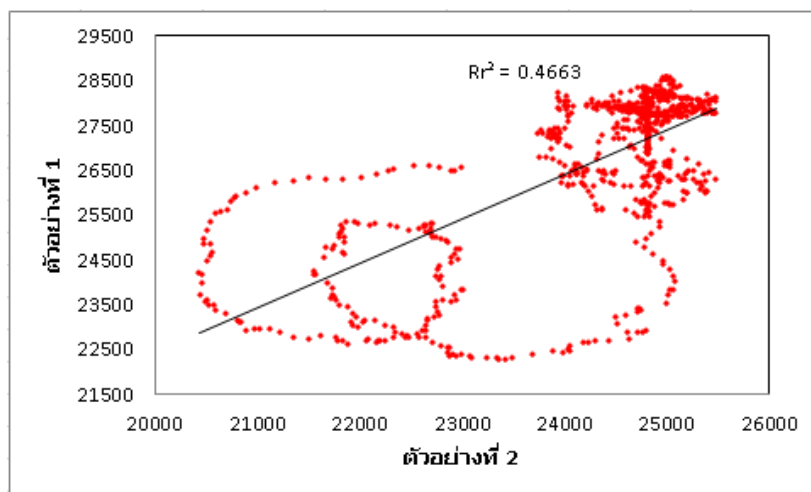
รูปที่ 7 กราฟความสัมพันธ์สีเขียว (G, green) ของตัวอย่างที่ 1 ครั้งที่ 1 และ 2

จากกราฟ แสดงความสัมพันธ์ของสีเขียว ของตัวอย่างที่ 1 ครั้งที่ 1 และ 2 พบว่า มีลักษณะใกล้เคียงเส้นตรง หรือ score เข้าใกล้ 1 แสดงว่าภาพ TLC ที่นำมาเปรียบเทียบกับนั้น มีแนวโน้มมาจากหมึกชนิดเดียวกัน



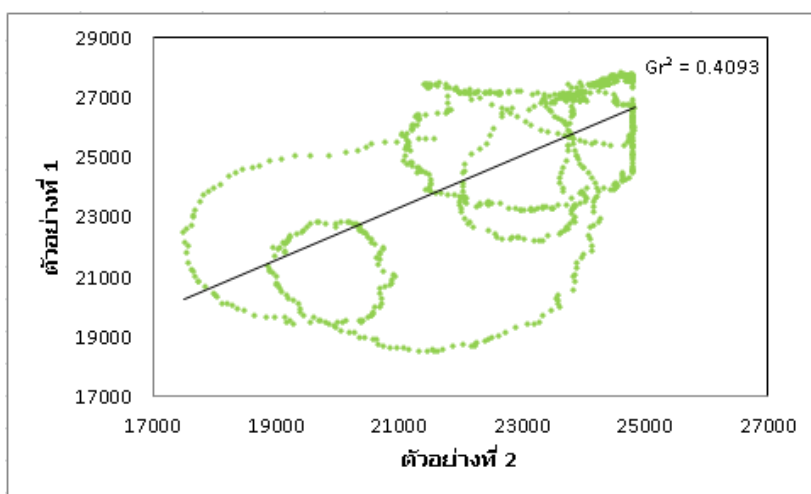
รูปที่ 8 กราฟความสัมพันธ์สีน้ำเงิน (B, blue) ของตัวอย่างที่ 1 ครั้งที่ 1 และ 2

จากกราฟ แสดงความสัมพันธ์ของสีน้ำเงิน ของตัวอย่างที่ 1 ครั้งที่ 1 และ 2 พบว่า มีลักษณะใกล้เคียงเส้นตรง หรือ score เข้าใกล้ 1 แสดงว่าภาพ TLC ที่นำมาเปรียบเทียบกับนั้น มีแนวโน้มมาจากหมึกชนิดเดียวกัน



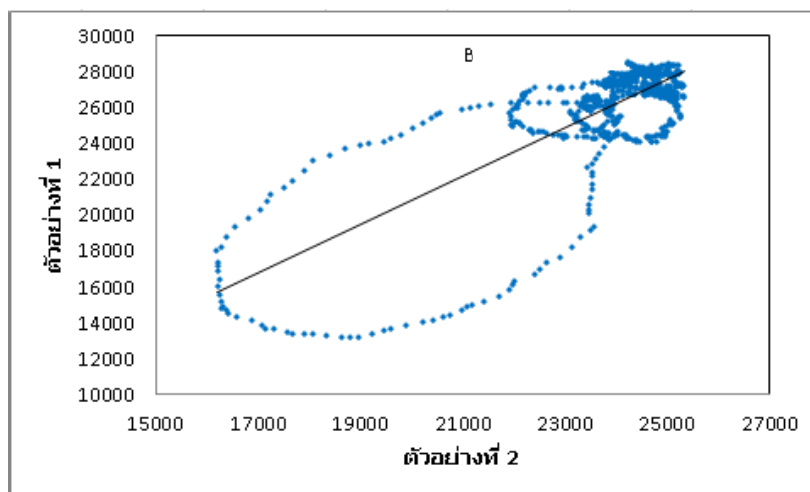
รูปที่ 9 กราฟความสัมพันธ์สีแดง (R, red) ของตัวอย่างที่ 1 และ 2

จากภาพ กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสีแดง ของตัวอย่างที่ 1 และตัวอย่างที่ 2 พบว่า มีลักษณะกระจายตัว หรือ score เข้าใกล้ 0 แสดงว่าภาพ TLC ที่นำมาเปรียบเทียบกับกันนั้น มีแนวโน้มมาจากหมึกต่างชนิดกัน



รูปที่ 10 กราฟความสัมพันธ์สีเขียว (G, green) ของตัวอย่างที่ 1 และ 2

จากกราฟ แสดงความสัมพันธ์ของสีเขียวของตัวอย่างที่ 1 และตัวอย่างที่ 2 พบว่า มีลักษณะกระจายตัว หรือ score เข้าใกล้ 0 แสดงว่าภาพ TLC ที่นำมาเปรียบเทียบกับกันนั้น มีแนวโน้มมาจากหมึกต่างชนิดกัน



รูปที่ 11 กราฟความสัมพันธ์สีน้ำเงิน (B, blue) ของตัวอย่าง ที่ 1 และ 2

จากภาพ กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสีน้ำเงิน ของตัวอย่างที่ 1 และตัวอย่างที่ 2 พบว่า มีลักษณะกระจายตัว หรือ score เข้าใกล้ 0 แสดงว่าภาพ TLC ที่นำมาเปรียบเทียบกับกันนั้น มีแนวโน้มมาจากหมึกต่างชนิดกัน

ตารางที่ 4 ผลของการเปรียบเทียบความเหมือนและความแตกต่างของตัวอย่างหมึกพิมพ์

ผลการวิเคราะห์	จำนวนภาพที่เปรียบเทียบ(คู่)	%
หมึกชนิดเดียวกัน	67	35.26
ยังไม่สามารถจำแนกชนิดได้	34	17.89
หมึกต่างชนิดกัน	102	53.68

การอภิปรายผล

จากการศึกษาเปรียบเทียบหมึกพิมพ์บนกระดาษที่พิมพ์โดย เครื่อง Ink Jet Printer ด้วยการใช้เทคนิค TLC และการวิเคราะห์ภาพ ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ตัวอย่างหมึกพิมพ์ทั้งหมด 20 ตัวอย่าง ผลการศึกษาค้นคว้าอธิบายได้จากการทดลอง ดังนี้ ศึกษาหาปริมาณตัวทำละลายที่จะนำมาสกัดน้ำหมึกออกจากกระดาษ ในการทดลองครั้งนี้ จะใช้ pyridine:distilled water ในอัตราส่วน 4:3(v/v) 10 μ l ต่อตัวอย่าง 1 ชิ้น ส่วนตัวอย่างจากน้ำหมึกพิมพ์ใช้ pyridine:distilled water ในอัตราส่วน 4:3(v/v) 50 μ l ต่อตัวอย่าง 10 μ l จากการศึกษาหาเฟสเคลื่อนที่สำหรับการทำ TLC มีการศึกษาทั้งหมด 2 ระบบ เฟสเคลื่อนที่ที่เลือกใช้ในการทดลองนี้ คือ *n*-butanol:ethanol:distilled water ในอัตราส่วน 10:2:3(v/v/v) ซึ่งสามารถให้ chromatogram ที่ดีที่สุดจากทั้ง 2 ระบบที่นำมาทดสอบ

ผลการทดลองหาปริมาณตัวทำละลายและเฟสเคลื่อนที่มาใช้ในการทำ TLC เพื่อศึกษาตัวอย่างจากหมึกพิมพ์บนกระดาษและจากน้ำหมึกทั้ง 20 ยี่ห้อ วิเคราะห์เปรียบเทียบความเหมือนและความแตกต่าง ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ สามารถสรุปผลได้ดังนี้ คือ เมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ของตัวอย่างที่เตรียมจากการ

พิมพ์บนกระดาษและน้ำหมึก พบว่า ตัวอย่างหมึกที่เหมือนกัน 35.26% ตัวอย่างน้ำหมึกที่แตกต่างกัน 53.68% และไม่สามารถจำแนกได้ 17.89% การศึกษาในครั้งนี้ แสดงให้เห็นความเป็นไปได้ในการใช้วิธี TLC ร่วมกับ โพรแกรมวิเคราะห์ภาพ วิเคราะห์หมึกพิมพ์จากเครื่อง ink jet printer เพื่อตรวจพิสูจน์เอกสารที่ต้องสงสัยและสามารถนำวิธีนี้ไปปรับใช้ เพื่อให้เกิดประโยชน์ในทางนิติวิทยาศาสตร์ต่อไป

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัย

1. การศึกษาครั้งต่อไป ควรศึกษาทดลองกับหมึกจากเครื่อง printer ชนิดอื่นๆ เช่น หมึกพิมพ์จากเครื่อง laser printer ทั้งชนิดสี และขาวดำ
2. การศึกษาควรทราบส่วนประกอบที่แน่นอนของหมึกพิมพ์ จากเครื่อง ink jet printer เพื่อยืนยันความถูกต้องในการวิเคราะห์เปรียบเทียบ

เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

- มยุรี สมบูรณ์. (2553). “การวิเคราะห์หมึกสีน้ำเงินจากปากกาถูกสิ้นด้วยเทคนิคทินเลเยอร์โครมาโตกราฟี และการวิเคราะห์ภาพ.” **วารสารวิชาการ viridian E-Journal** 3, 1 (กรกฎาคม): 262-275.
- จิราภรณ์ มั่นศิลป์. (2553). “กระบวนการปรับปรุงภาพกับการประยุกต์ใช้กับนิติวิทยาศาสตร์.” **วารสารวิชาการ viridian E-Journal** 3, 1 (กรกฎาคม): 245-261.

ภาษาต่างประเทศ

- Claude Roux, Michelle Novotny, Ian Evans., and Chris Lennard. (1999). “A study to investigate the evidential value of blue and black ballpoint pen inks in Australia.” **Forensic Science International** 101, 17 (May): 167-176.
- NL Poon, SSH Ho., and CK Li. (2005). “Differentiation of coloured inks of inkjet printer cartridges by thin layer chromatography and high performance liquid chromatography.” **Forensic Science Division** 45, 6 (May): 187-194.
- Ashwini Kher, Mary Mulholland, Elinore Green., and Brian Reedy. (2006). “Forensic classification of ballpoint pen inks using high performance liquid chromatography and infrared spectroscopy with principal components analysis and linear discriminant analysis.” **Vibrational Spectroscopy** 40, 17 (March): 270-277.
- Djavanshir Djozan, Tahmineh Baheri, Ghader Karimian., and Masomch Shahidiwf. (2008). “Forensic discrimination of blue ballpoint pen inks based on thin layer chromatography and image analysis.” **Forensic Science International** 179, 6 (August): 199-205.